

画像処理による布のしわ客観評価法の開発

松平 光男・韓 建*・楊 敏壮**

Development of Objective Evaluation Method for Fabric Wrinkles by Image Processing System

Mitsuo MATSUDAIRA, Jian HAN and Minzhuang YANG

Abstract

The slit beam projecting technique combined with the image processing system is used, and three-dimensional images of the wrinkle of fabrics are obtained by the method, in which there is no influence on the results from the colors and the patterns of fabrics, and the fabric wrinkles can be evaluated and analyzed objectively. The parameters, such as standard deviation of height values of surface profiles, increasing ratio of surface area and fractal dimension of curve, are defined and suggested to evaluate and characterize the fabric wrinkles. There are logarithm relationships between the parameters and the wrinkle grades of standard replicas, and their correlations are high, too. There is a good agreement between the subjective appraisal and the objective evaluation results for the fabrics. At last, the wrinkles of surface profiles are also analyzed with wavelet transform.

1. 緒言

消費者や製造者にとって、衣服の着用性を評価するとき、その外観の美的な評価は一つの重要な要素である。衣服は繰り返し着用および洗濯した後、しわが発生し、衣服の外観美に悪い影響が出てくる。しわの評価に対して、伝統的な評価法としては、主に主観評価法^{1~4)}であり、評価者の視覚的な差などの影響で、評価の精度は低く、評価者間の差も大きいと言われている。近年、しわの評価に幾つかの客観評価法が報告され^{5~12)}、その中に、画像処理システムを利用する方法はよく使われている。測定原理としては、しわによる布の表面に対する反射光の輝度値が変化し、それを表面の高さに変換する方法である。しかしながら、この方法は光源、布の色、柄などの影響を受け、濃い色の布と柄のある布には不適當である。これらの問題を解決するために、本研究では、スリット投影ビームにより、光源、布の柄などの影響をなくした3D

画像を測定し、新しく定義した表面面積増加率などのパラメータで、布のしわに対する客観評価を行い、その結果と主観評価との一致性も考察する。

2. 実験

2. 1 しわの測定

スリット投影ビームは様々な物体表面の形状、輪郭などの3D画像を獲得するときに、よく使われている¹²⁾。このシステムは、CCDカメラ、光投影装置、移動平板、モニター、画像ボードおよびパソコンからなり、図1に示す。光はスリット投影ビームを通して、薄い带状の光線が試料の表面にあたる。入射光とCCDカメラの撮影角度がそれぞれ測定物体の法線の両側にあるうえ、一定の角度となっているため、もし測定物体の表面に平らでなければ、その表面に投影された光線は直線ではなく、曲線となり、その曲線をCCDカメラで取り込んだ後、参照平

面と比較することにより、測定物体の表面高さの変化が得られる。すなわち、測定物体の任意点 p の高さを Z_i とすれば、CCD カメラから取った画像に変位 S_i があり、この S_i で三角法原理により、任意点の高さ Z_i を計算できる。

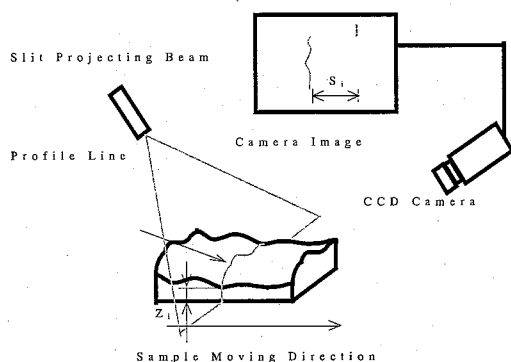


Fig. 1 Schematic diagram of 3D measurement system

試料を乗せる台を X 方向へ移動し続け、2 mm 毎に画像を撮影し、試料の測定範囲 (80×110mm) に合わせて41枚の画像を取る。取り込まれた画像を図2に示すように、2値化、細線化、画像合成などの処理をして、3D画像が得られる。この方法は標準レプリカにしても、濃い色又は柄のある布に対しても、すべての取った画像に暗い背景と明るい輪郭線ができ、2値化処理するための閾値の範囲が非常に大きく、

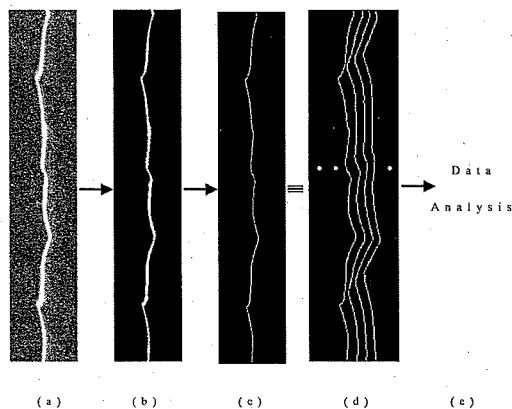


Fig. 2 Process of the experiment
(a)Original image (b)Binary image (c),(d) Thinning image(e)Filtering and Data analysis

測定物体表面の輪郭線と背景をきれいに分離することができ、高精度の3D画像が得られ、しわの等級などの評価も精度高く行われる。測定システムの結果と主観評価の結果との一致性を調べるため、異なる色および柄の布を10枚選択し、それぞれ客観評価と主観評価を行う。AATCC-128測定法により、布にしわを生じた後、24時間の回復をしてから、測定および評価を行う。主観評価は4名の経験者により、標準レプリカを参照しながら、評価する。

2. 2 FFT フィルタ

布および標準レプリカには表面にしわがあるため、反射光による輪郭線を2値化と細線化するとき、高周波数の騒音が発生する。この高周波数の騒音を除くため、FFT フィルタにより、データを処理する。

3. しわの特徴

しわの形状は布表面輪郭の高さ変化と対応しているが、その高さの変化は複雑で、もしいくつかのパラメータで高さ変化の全体像を反映できれば、しわの特徴を表せる。我々は表面輪郭高さの標準偏差、表面面積増加率およびフラクタル次元を利用して、しわの特徴を表す。

3. 1 表面輪郭高さの標準偏差

図3に1本の代表的な表面輪郭線を示す。もし、高さ関数を $Z=f(x,y)$ とすれば、その高さの標準偏差 (Z_{SD}) は次のようになる。

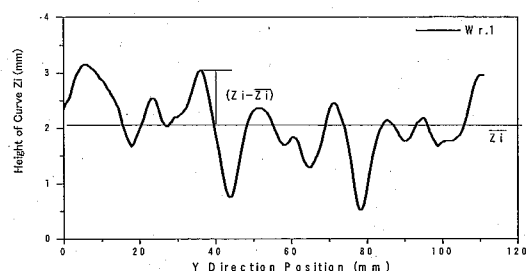


Fig. 3 A typical profile line of surface

$$Z_{SD} = \sqrt{\frac{\sum \sum (Z_{(ij)} - \bar{Z})^2}{m \times n}} \quad (1)$$

ここで、 $Z_{(ij)}$ は任意点の高度値で、 \bar{Z} は高さの平均値であり、 m は x 方向のポイント数 ($m=41$) で、 n は y 方向のポイント数 ($n=361$) である。

上式により、平らな表面高さの標準偏差はゼロで、表面が平らでないほど、表面高さの標準偏差は大きくなる。すなわち、表面高さの標準偏差が大きいほど、布のしわの程度も大きいと言える。

3. 2 表面面積増加率

表面積は表面の形態により決められ、もし x - y 平面での投影面積を同じとすれば、表面面積の小さい方が平らであると言える。表面面積を計算するため、図4に示すように、任意の近傍4ポイント (A 、 B 、 C 、 D) からなった平行四辺形を取り、表面面積増加率は次のように定義した。

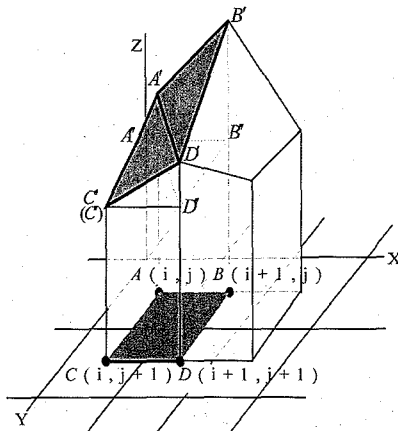


Fig. 4 Model of calculating

$$\eta_A = \frac{\sum S_{A'B'C'D'} - \sum S_{ABCD}}{\sum S_{ABCD}} \times 100\% \quad (2)$$

ここで、 $\sum S_{A'B'C'D'}$ は頂点 ($A'B'C'D'$) の総面積であり、 $\sum S_{ABCD}$ は x - y 平面の総投影面積である。

η_A が大きいほど、布のしわの程度も大きい。

3. 3 フラクタル次元

最近では、Benoit B. Mandelbrot 博士が提出したフラクタルは自己相似性をもとにして、複雑な曲線、曲面などの幾何学形状を表現するときによく使われる一つの数学ツールである^{13,14)}。フラクタル次元 (FD) は表面形状の複雑性の程度と表面粗さの程度を定量化することができる。FD=2 の場合では、表面は完全に平たい状態にあるが、FD=3 の場合では、表面は非常に複雑ででこぼこした状態になる。

3. 4 しわに対するウェーブレット分析

ウェーブレット (Wavelet) 解析はデータ処理に関する一つの新しい分析法である¹⁵⁾。これはマザーウェーブレット (Mother Wavelet) の平行移動 (Shift) と拡大縮小 (Scale) により、入力信号を分解する。マザーウェーブレットは次のように表す：

$$\Psi_{a,b}(y) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{y-b}{a}\right) \quad (3)$$

ウェーブレット変換により

$$W_\Psi(y)(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \Psi\left(\frac{y-b}{a}\right) dy \quad (4)$$

ここでは、 $f(y)$ は高さ関数であり、 a はScaleであり、 b はShiftである。

Scaleは小さいほど、Waveletはより縮小される。

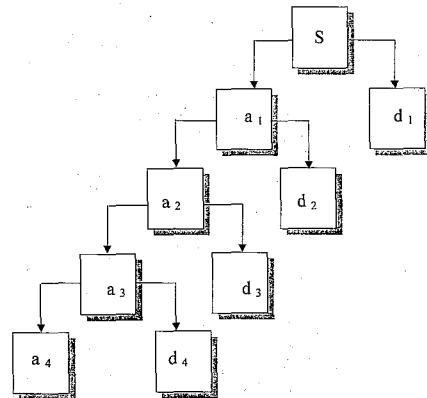


Fig. 5 Wavelet decomposition tree

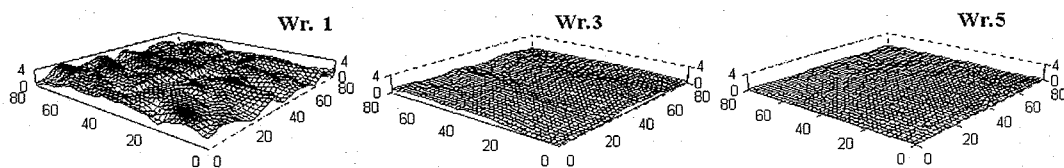


Fig. 6 3-D surface shape of replicas

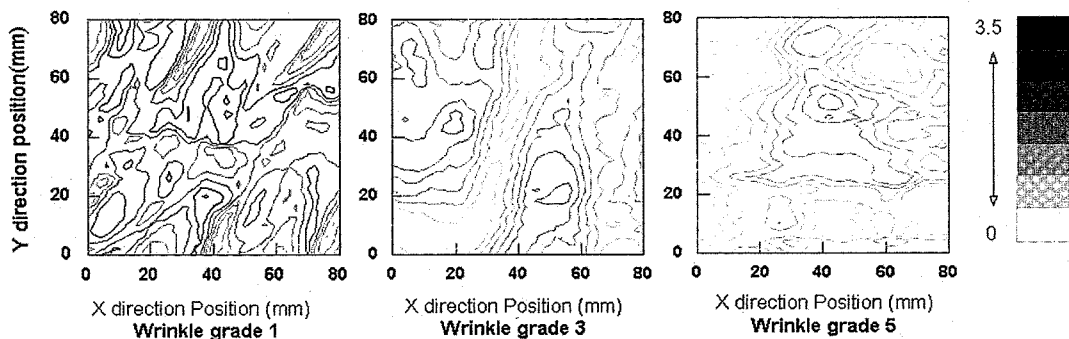


Fig. 7 Contour plot showing height of surface

Scale は入力信号の周波数により決められ、キャッチしたい低周波数の分解レベルを選択して、図5のような段階的な分解図が得られ、各レベル j で、 j レベル近似 a_j と j レベル詳細 d_j を築く。

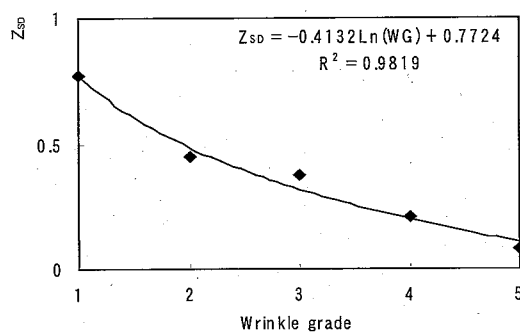
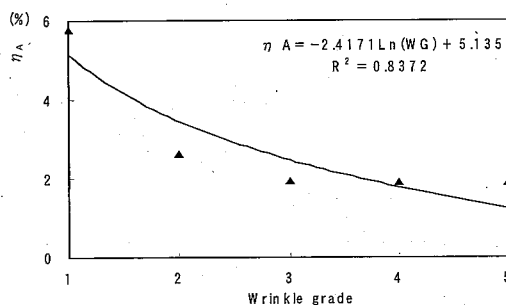
$$S = a_j + d_1 + d_2 + \dots + d_j \quad (5)$$

ウェーブレット分解ツリーにより、データ信号の有用な情報が得られる。

4. 結果および分析

本研究では、布のしわを客観評価するため、スリット投影ビーム技術により、3D 画像処理測定システムを開発した。図6には、AATCC 標準レプリカの1級、3級、5級の表面形状(80×80mm)を示す。

標準レプリカの各等級の間には、非線形の対数関係を持ち、1級と2級の差は非常に大きい、4級と5級の差は小さい¹⁵⁾。図7には、標準レプリカの1級、3級、5級の表面高さ等高線を示すが、各等級の等高線の差は明らかであ

Fig. 8 Z_{sd} and wrinkle gradeFig. 9 η_A and wrinkle grade

る。1級の高度値分布は0～3.5mmで、等高線も非常に複雑であるが、5級の高度値分布は0～1mmで、等高線も最も簡単である。

表面高さの標準偏差 Z_{SD} と標準レプリカ等級との関係を図8に示す。0.01の有意水準で対数回帰関数が求められる。3級のレプリカはややはずれているが、他の等級は回帰関数と非常によい対応関係を持つ。 Z_{SD} は大きいほど、しわの程度も大きいことがわかる。

図9には、しわ等級と表面面積増加率 η_A との関係を示すが、0.05の有意水準で対数回帰関数を求めることができた。回帰関数の精度は Z_{SD} よりやや落ちる。

図10には、しわ等級とフラクタル次元FDとの関係を示すが、0.01の有意水準で対数回帰関数が求められた。

Z_{SD} 、 η_A 、FDは異なる意味を持ち、しわ等級の変化につれ、それぞれ変化する。10枚の異なる繊維、組織、色、柄の織物を主観評価(WG_{sub})と客観評価の結果を表1と図11に示す。 W_{SD} と W_{FD} は麻とポリエステル織物のようなしわの程度の高いまたは低いサンプルに対して、精度がやや落ちる。その原因としては、麻織物のしわはサイズの大きいものと高さの大きいものが多いため、 W_{SD} の場合では大きくなる傾向にあるが、 W_{FD} の場合では小さくなる傾向にある。逆に、ポリエステル織物はしわのサイズの小さいものと高さの低いものが多いため、 W_{SD} の場合では小さくなる傾向にあるが、 W_{FD} の場合では大きくなる傾向にある。 W_{SD} は主に高さの変化と平均値との偏差により決められるが、 W_{FD} は高さの変化だけでなく、その変化の複雑性の程

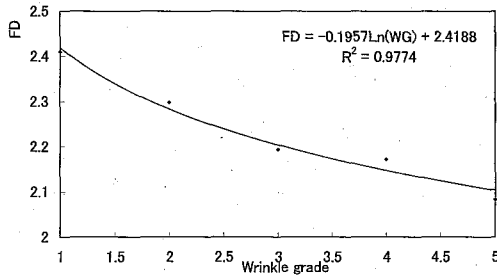


Fig. 10 FD and wrinkle grade

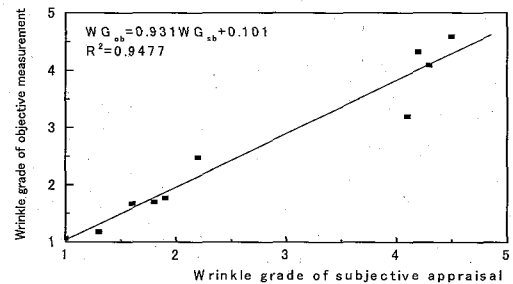


Fig. 11 Results of subjective appraisal and objective measurement

Table 1 Samples of fabrics and their wrinkle grade appraisals

Sample	Color	Material	Structure	Weave	WG_{sub}	W_{SD}	W_A	W_{FD}	WG_{ob}
1	printed	acrylic	filament	plain	4.1	3.88	3.41	2.31	3.20
2	ivory	cotton	yarn	plain	1.9	1.43	2.26	1.61	1.77
3	white	cotton	yarn	plain	1.8	1.67	1.85	1.59	1.70
4	coral	linen	yarn	plain	1.0	0.95	0.79	1.43	1.06
5	dim gray	polyester	filament	plain	4.3	5.24	3.77	3.26	4.09
6	olive	polyester	filament	plain	4.2	4.96	4.26	3.73	4.32
7	ivory	rayon staple	yarn	plain	1.6	2.12	1.61	1.27	1.67
8	white	rayon	filament	3-twill	1.3	1.35	1.17	1.01	1.18
9	ivory	silk	filament	5-satin	2.2	3.18	2.77	1.49	2.48
10	black	wool	yarn	plain	4.5	4.70	4.23	4.84	4.59

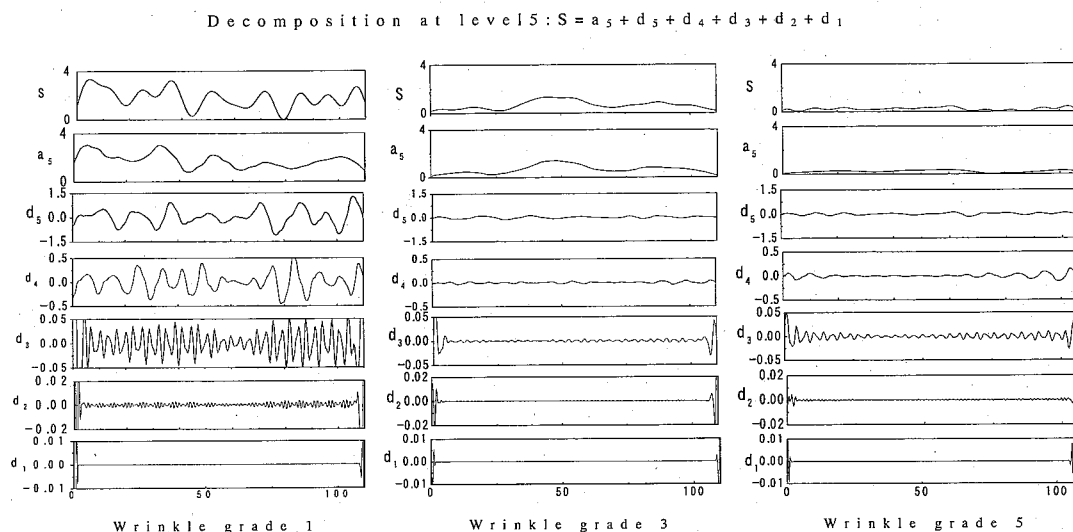


Fig. 12 Wavelet transform of surface profiles

度および表面粗さの影響も受ける。従って、客観評価の結果の信頼性を高めるため、 W_{SD} 、 W_A 、 W_{FD} これら三つの評価を平均して最終の客観評価等級 (WG_{ob}) として使い、主観評価 (WG_{sub}) と客観評価 (WG_{ob}) で比較すると、よい一致性があることがわかった。柄のある織物に対しては、人間の視覚に柄が影響するため、主観評価値は客観評価値よりやや低くなることも示された。

ウェーブレットの分析では、レベル5の Daubechies wavelet db4 までの分解で、しわの研究と分析に満足できる。しわのデータ信号は大体“低周波数”、“中周波数”と“高周波数”の三つの部分からなる。これらに対応している周期はそれぞれ20mm以上、7.5~18mmと3.5mm以下である。1級、3級、5級レプリカ曲線のウェーブレット変換は図12に示すが、1、2、3レベルの詳細 d_1 (d_1 、 d_2 、 d_3) に、非常に小さいピークがあり、その範囲は-0.05~0.05mmで、主に高周波数の騒音からできたものであり、対応する周期は3.5mm以下である。 d_4 から d_5 まではいくつかの小さいサイズのしわからなる。高周波数を除いたら、 a_5 に分離され

た信号はしわの形状をはっきりと示す。1級のレプリカに対して、 d_4 と d_5 のピーク値はそれぞれ1mmと2mmであるが、 a_5 のピーク値は3.5mmで、5つの大きいサイズのしわが存在する。2級のレプリカに対して、 d_4 と d_5 のピーク値はそれぞれ0.3mmと0.8mmであり、 a_5 のピーク値は1.7mmで、4つの大きいサイズのしわが存在する。3、4、5級のレプリカに対して、 d_4 と d_5 のピーク値はそれぞれ0.1mmと0.3mmであり、1、2級のピーク値より小さいが、三者とも3つの大きいサイズのしわが存在する。3級のピーク値は4、5級より大きい、4級の a_5 は5級よりやや大きい。

5. 結論

本研究では、画像処理システムおよびスリット投影ビームにより、布のしわ客観評価を行い、布の色、柄などの影響を受けずに、評価することが可能となり、以下の結論が得られた。

- 1) 各パラメータと標準レプリカ等級との間にはよい対数関係があり、相関も高い。
- 2) 各パラメータはしわの程度を定量的に評価でき、測定した結果が布の色、柄などの影

響を受けない。

3) 織物に対する主観評価値と客観評価値とはよい一致性がある。

4) ウェーブレット変換により、しわの詳しい形態を分析が可能である。

文献

- 1) C. O. Bostwick ; Tefo, No.3 (1961)
- 2) 諸岡晴美、丹羽雅子：繊維製品消費科学会誌、17, 176 (1976)
- 3) 諸岡晴美、丹羽雅子：繊維製品消費科学会誌、18, 27 (1977)
- 4) 間間正雄、富森美緒：繊維製品消費科学会誌、21, 10 (1980)
- 5) Y.J. Na and B.Pourdeyhim ; Text. Res. J., 65, 149 (1995)
- 6) B.Xu and J.A.Reed ; J. Text. Inst., 86, 129(1995)
- 7) E.H.Kim ; Text. Res. J., 69, 860 (1999)
- 8) T.J.Kang, D.H.Cho, and H.S. Whang ; Text. Res. J., 69, 261 (1999)
- 9) 西松豊典、太田健一：繊維学会誌、56, 348 (2000)
- 10) 森 俊夫、脇田登美司：繊維学会誌、55, 424 (1999)
- 11) M. Matsudaira, J.Han, M.Yang ; J. Text. Eng. Jpn., 48, No.1, 11 (2001)
- 12) 太田奈緒、渋谷淳夫：繊維製品消費科学会誌、43, 284 (2002)
- 13) T.J.Kang, J.Y.Lee ; Text. Res. J., 69, 527 (1999)
- 14) T.J.Kang, J.Y.Lee ; Text. Res. J., 70, 469 (2000)
- 15) Charles K. Chui, Wavelet Applications, 96 (1997)